

Multimedia in der Physik

Vielfältige Möglichkeiten für die Lehre

Stefan Altherr, Andreas Wagner, Bodo Eckert und Hans-Jörg Jodl

Moderne Medien spielen eine immer größere Rolle in der schulischen und universitären Physikausbildung und lassen sich etwa in Fernstudiengänge äußerst nutzbringend integrieren. Deshalb widmet sich mittlerweile eine große Vielzahl von Einzelprojekten der Entwicklung multimedialer Lernelemente. Interessenten fällt es jedoch oft schwer, im umfangreichen Gesamtangebot die Spreu vom Weizen zu trennen. Dem sollen Verbundprojekte und Datenbanken abhelfen, insbesondere durch eine aussagekräftige Evaluation.

So griffig die Bezeichnung „multimediale Lernelemente“ auf den ersten Blick erscheint, so vielgestaltig ist das, was sich dahinter verbirgt: Videos, Animationen, Simulationen, interaktive Bildschirmexperimente [1], Hypertextstrukturen, Tutorials oder über das Internet fernsteuerbare Experimente (sog. Remotely Controlled Laboratories) [2]. Ebenso vielseitig sind die Einsatzbereiche der Multimedia-Materialien (MM). Das umfasst den klassischen Schulunterricht ebenso wie den Früheinstieg ins Hochschulstudium, die Ergänzung von Vorlesungen, die Vor- und Nachbereitung von Praktika und nicht zuletzt das Fern- und Selbststudium.

Die Akzeptanz von multimedialen Lernelementen ist allerdings noch immer weitgehend unbefriedigend. Vielfach fehlt es an Informationen über neue Produkte und deren Einsatzmöglichkeiten. Generell ist die so genannte „visibility“ in der Entwicklung von Medien kaum gegeben. Zwar sorgen nationale und internationale Workshops (z. B. Arbeitskreis Multimedia bzw. Multimedia in Physics Teaching and Learning der EPS) für den unverzichtbaren und notwendigen Austausch von Informationen unter den Experten. Doch die Diskrepanz zwischen den Bedürfnissen des Endnutzers und dem, was an Material und Werkzeugen zur Verfügung steht, ist immer noch unübersehbar groß. Das belegt auch eine gründliche Recherche



Multimedia in der Physikausbildung bieten die Chance, das Lernen abwechslungsreicher und attraktiver zu gestalten.

bei 80 Physik-Fachbereichen an deutschen Hochschulen, die im Sommer 2003 durchgeführt wurde.¹⁾ Trotz dieses Befundes zeigen die vielen bestehenden Bemühungen aber deutlich, dass der Einsatz von Multimedia in der Physikausbildung die Chance bietet, das Lernen von Physik anschaulicher, abwechslungsreicher und attraktiver zu gestalten. Dabei hat jede Arbeitsgruppe bzw. Organisation ihre eigenen Strategien. Das ist auch gut so, denn meistens zeigt erst die Praxis, welche Konzepte das Physiklernen wirklich verbessern und sich durchsetzen. Die zahlreichen Projekte sind jedoch weltweit verstreut und die Medien im Internet meist nur unkommentiert zugänglich. Dies ist für alle Beteiligten unbefriedigend, zumal genau dann finanzielle und personelle Ressourcen verschwendet werden, wenn die gleichen Konzep-

Eine Übersicht über Einzel- und Verbundprojekte im Bereich Multimedia findet sich, zusammen mit den Links zu den genannten Organisationen und Multimediasevernen, auf <http://multimedia.physik-journal.de>.

te und multimedialen Elemente andernorts parallel entwickelt werden.

Um der Problematik generell entgegenzuwirken, könnte ein zentraler Knotenpunkt auf europäischer Ebene – ähnlich dem amerikanischen Projekt MERLOT (s. Infokasten auf S. 56) – die Sammlung, Produktion und Evaluation von Multimedia-Material bündeln. Zu den Zielen eines solchen Projektes gehört u. a. die Bereitstellung einer umfassenden Datenbank. Bei einer solchen Sammlung sollte dann eine nachvollziehbare Bewertung und Kommentierung von multimedialen Elementen nicht fehlen.

Im Idealfall könnte es dann einmal möglich sein, multimediale Lernelemente bedarfsgerecht bereitzustellen und zu entwickeln: Wenn also etwa ein Dozent bei einem bestimmten Thema Lernschwierigkeiten bei seinen Studierenden feststellt, dann hätte er die Möglichkeit, sich an eine zentrale Stelle zu wenden, um die Entwicklung eines Mediums anzuregen, falls er keine geeigneten Medien findet und nicht selbst produzieren kann.

Um zu demonstrieren, wie unterschiedlich Motivationen und

1) Nicht berücksichtigt werden konnte die in den letzten Jahren stark ansteigende Zahl kommerzieller Produkte.

Stefan Altherr, Andreas Wagner, StR Dr. Bodo Eckert, Prof. Dr. Hans-Jörg Jodl, Fachbereich Physik, TU Kaiserslautern, Erwin-Schrödinger-Straße, 67663 Kaiserslautern

Zielsetzungen bei Einzelprojekten zur Entwicklung von Multimedia sein können, möchten wir zunächst einige Beispiele aus verschiedenen Bereichen vorstellen. Diese veranschaulichen auch sehr gut, wie unterschiedlich die Projekte im Hinblick auf den Adressatenkreis, die Breite der Thematik und vor allem die Einbindung in konkrete Lehr- und Lernsituationen sein können.

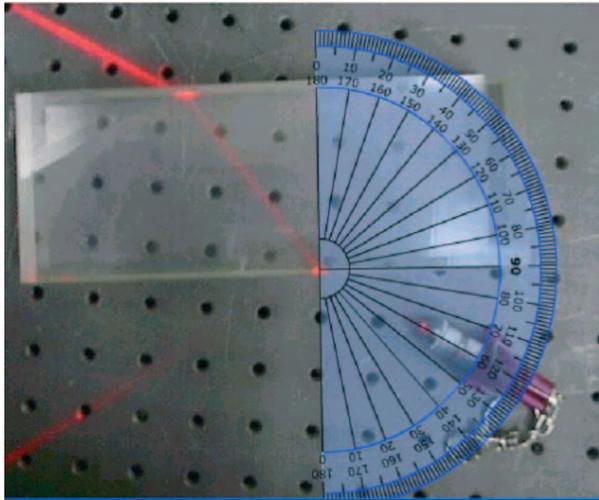
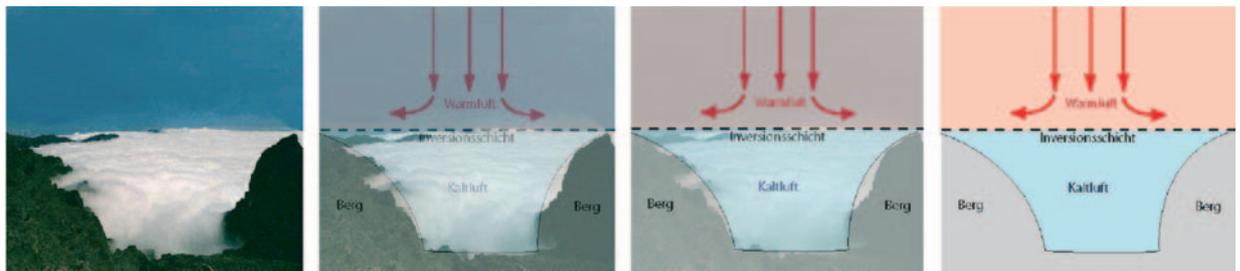


Abb. 1: Mit Hilfe eines beweglichen, virtuellen Winkelmessers lassen sich Einfallswinkel und Ausfallswinkel für Spiegelung und Brechung eines schmalen Lichtbündels an einem Plexiglasblock einfach und ohne rechnerischen Aufwand ablesen [3].

Messwerkzeuge

Trotz der Vielzahl bereits existierender Simulationen stehen im Physikunterricht natürlich immer noch reale Phänomene und Experimente im Mittelpunkt. Deshalb hat Tomass Romanovskis mit seinen Mitarbeitern verschiedene Multimedia-Werkzeuge erstellt, mit denen sich zahlreiche physikalische Phänomene nicht nur veranschaulichen, sondern auch quantitativ erfassen lassen. Die Experimente liegen dazu entweder als Foto oder als Videosequenz vor. Zu den verschiedenen Werkzeugen gehören unter anderem ein virtuelles Lineal und ein Winkelmessgerät (Abb. 1), ein Tool zur digitalen Bestimmung von Abständen und Winkeln sowie ein Werkzeug, mit dem sich die fraktale Dimension von Kurven ermitteln lässt. Im Physikunterricht kommen solche Werkzeuge gerade dem Prinzip der Handlungsorientierung

Abb. 2: Die Wärmeverhältnisse in einem Tal werden schrittweise sichtbar gemacht. Aufgrund der unterschiedlichen Temperaturverhältnisse füllt Hochnebel das Tal bis zur so genannten Inversionsschicht.



entgegen. Dadurch, dass mit den Bildschirmmessungen gezielt Aufgaben verknüpft werden können, bei denen die Schüler oder Studierenden selbst tätig werden und die Versuche auswerten müssen, lässt sich ein passiver „Bilderkonsum“ vermeiden.

Vom Phänomen zur Beschreibung

Nicht nur die Interaktivität zählt zu den Stärken von Multimedia. Mit diesen lassen sich auch verschiedene Sinnesbereiche integrieren (Multimodalität) oder Phänomene in unterschiedlichen Darstellungsweisen präsentieren (Multicodierung). An der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg nutzt man die in diesem Zusammenhang gewonnenen lerntheoretischen Konzepte, um Designprinzipien für die Entwicklung von Multimediaanwendungen zu formulieren [4]. Auf dieser Basis werden dort Software-Elemente zur Wärmelehre und zur Optik erstellt. Dabei setzt man z. B. die Überblendtechnik ein, um die Wärmeverhältnisse für ein Tal durch den schrittweisen Übergang von einem Foto zur Schemazeichnung (Abb. 2) deutlich zu machen. Den Lernenden soll es so erleichtert werden, die im Foto festgehaltene Information mit einer theoriebehafteten Schemazeichnung zu verknüpfen. Die im Rahmen des Projektes entstehenden Module werden in der neunten Klassenstufe eingesetzt und hinsichtlich ihrer Lernwirksamkeit untersucht.

FIPS – Experimente aus der Ferne

Der Fachbereich Physik der Technischen Universität Kaiserslautern bietet mit dem „Früheinstieg ins Physik-Studium“ (FIPS) ein internet- und multimedienbasiertes Fernstudium der ersten beiden Semester des Hauptfaches Physik an. Um die Studenten bei Lernschwierigkeiten zu unterstützen, wurden im Laufe der Jahre 2001 bis 2003 neue Medien entwickelt. Ausgangs-

punkt war der Wunsch, das Fehlen der Demonstrationsexperimente in der Fernlehre zu kompensieren. Ein Leitgedanke hierbei ist, Medien genau dort einzusetzen, wo Lern- oder Verständnisschwierigkeiten auftreten. Allerdings lassen sich Multimedia meist nur für Standardthemen finden. Darüber hinaus können die meisten z. B. in Videos dargestellten Experimente nicht für Übungsaufgaben genutzt werden, in denen die Studierenden Messwerte erfassen und Versuche auswerten. Daher verfolgt man zwei Ansätze bei der Entwicklung der Medien: Zum einen werden die Videoaufnahmen zur Veranschaulichung von komplexen Sachverhalten genutzt. Da sich Studenten, wie die Erfahrung zeigt, wenig mit Videos beschäftigen, die aus ihrer Sicht nur Beiwerk sind, wird zum anderen versucht, die Multimedia in Übungsaufgaben zu integrieren. Zum konkreten Beobachten und Messen wurden so genannte Messvideos entwickelt, die es erlauben, experimentelle Daten aus dem Bildmaterial zu gewinnen und auszuwerten.

Ein Messvideo zu Trägheitskräften im rotierenden Bezugssystem beispielsweise stellt die Bewegung einer auf einer rotierenden Scheibe rollenden Kugel gleichzeitig in zwei verschiedenen Bezugssystemen dar (Abb. 3). Mit den Messvideos können je nach Lehr- bzw. Lernsituation verschiedene Schwierigkeiten behandelt werden. Diese reichen von rein begrifflichen (Inertialsystem, Scheinkraft) über experimentelle Probleme (Reibungseinfluss auf die Bahnkurve) bis hin zu mathematisch-formalen Schwierigkeiten (Transformationsgleichungen für Geschwindigkeit).

Insgesamt wurden in Kaiserslautern etwa 20 Demonstrations- und Messvideos überwiegend zu Nichtstandardthemen entwickelt. Die Medien sind sowohl in die Fern- als auch in die Präsenzlehre integriert.

Multimedia im Verbund

Bis ins Jahr 2000 (und zum Teil noch darüber hinaus) beschränkte sich die Entwicklung von Multimedia vorwiegend auf die Produktion einzelner Medien. Sowohl „Einzelkämpfer“ als auch Forschungsgruppen beschäftigen sich immer wieder mit den gleichen Problemen. Inzwischen ist jedoch ein Trend weg von Einzelprojekten hin zu groß angelegten Verbundprojekten zu beobachten, von denen wir im Folgenden einige vorstellen möchten.

Der „Verbund Norddeutscher Universitäten“ betreut ein Projekt namens „Physik multimedial – Lehr- und Lernmodule für das Studium der Physik als Nebenfach“, koordiniert von Horst Schecker an der Universität Bremen [5]. Ausgangspunkt für dieses Projekt ist, dass Studierende mit Physik als Nebenfach ein heterogenes Vorwissen mitbringen. In diesem Zusammenhang sind Entwicklung und Einsatz multimedialer Module ein wesentliches Ziel des Projekts, beispielsweise Visualisierungen und Selbstlerneinheiten. Diese Module lassen sich einerseits von den Lehrenden flexibel in verschiedenen Veranstaltungen einsetzen und eignen sich andererseits zum Selbststudium. Hervorzuheben ist weiterhin die Lernplattform, auf der Dozenten verschiedener Universitäten eigene Kurse anbieten und Materialien integrieren können.

Physik 2000 – Forschungsbezogenes Studium

Mit „Physik 2000“ leitet Albert Heinrich Walenta von der Universität Siegen ein Projekt über neue Medien für ein forschungsbezogenes Studium im Universitätsverbund. Im Wesentlichen sollen spezielle Anwendungsbereiche und Grundlagenbereiche zielgerichtet unterstützt werden. Zudem bietet ein forschungsbezogener Blick auf die Physik die Chance, die Attraktivität des Physikstudiums im Hinblick auf die geringen Anfängerzahlen zu steigern.

Wichtige Teilschritte des Projektes sind: die Organisation des Studienverlaufs, die Herstellung von Lehrmodulen, der Aufbau neuer experimenteller Übungen, die Verknüpfung der netzbasierten mit der Präsenz-Betreuung, die Herstellung interaktiver Kommunikationsplattformen sowie die Evaluierung und Qualitätssicherung des Projektes. Bei den 14 Lehrmodulen sind beispielsweise Astroteilchenphysik, Detektorphysik und Supraleitung geplant. 15 neue internetgesteuerte Experimente sollen zu Themen wie Rastersondenmikroskopie sowie Präparation und Charakterisierung dünner Schichten erstellt werden. Ferner ist vorgesehen, das Netzwerk des Projektes auf internationaler Ebene auszudehnen.

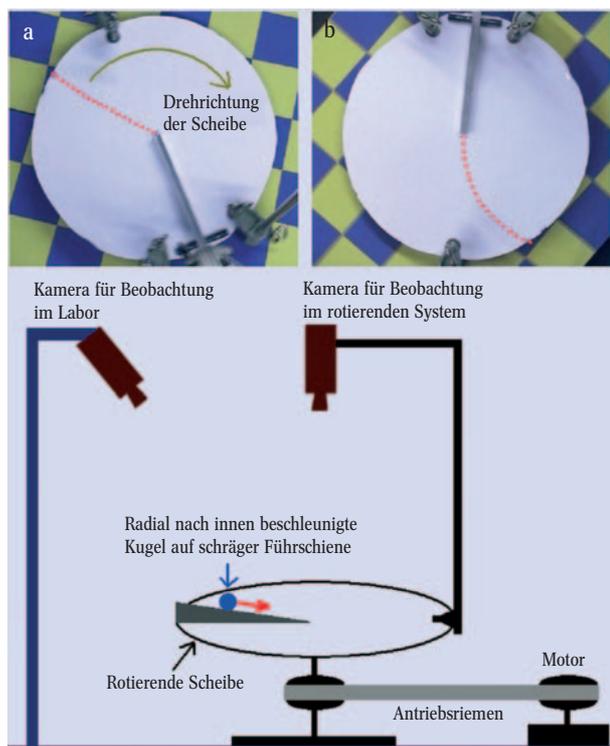


Abb 3: Die Bewegung einer Kugel auf einer rotierenden Scheibe wird mit einer „ruhenden“ Kamera im Laborsystem (a, ruhender Hintergrund scharf erkennbar) und einer mitbewegten Kamera (b, Hintergrund leicht verschwommen) aufgenommen und nach gleichen Zeiten mit Punkten markiert.

Vor- und Nachbereitung am Computer

Dem Ziel, ingenieurwissenschaftliche Laborpraktika weiterzuentwickeln, widmet sich das Projekt „Entwicklung und Evaluation interaktiver, multimedialer Lernsoftware für technische und physikalische

Praktikum zu weitaus besseren Resultaten und zu einer intensiveren und kritischeren Beschäftigung mit der Auswertung und Interpretation der Daten“, lautet ein wichtiges, wenn auch noch vorläufiges Fazit des Projektes.

Schwierige Suche

Die vorgestellten Beispiele zeigen, wie sich multimediale Elemente sinnvoll in verschiedene Unterrichtskonzepte integrieren lassen.

In den vergangenen Jahren hat sich der Schwerpunkt der Arbeiten weg von der Produktion neuer Medien hin zu Organisation und Evaluation des Bestandes verlagert. Die unüberschaubare Menge an mittel-mäßigen Medien mit nur wenigen positiven Exemplaren muss erfasst und bewertet werden. Die Suche nach „best-practice“-Beispielen rückt zunehmend ins Zentrum der Aufmerksamkeit.

Bei der Suche nach geeignetem multimedialem Material im Internet hat sich schnell gezeigt, dass ein Vorgehen mit nicht-spezialisierten Suchmaschinen kaum sinnvolle Ergebnisse bringt. Diverse Datenbanken und Mediensammlungen versuchen, das vielfältige Material zu sammeln und zu sichten. Allerdings sind diese Sammlungen von Multimedien zur Physikausbildung zumeist noch unzureichend organisiert. Viele Linklisten sind unsortiert und/oder geben zu wenig Aufschluss über den Inhalt und die Qualität eines Mediums. Gute Datenbanken bieten neben einer Suchfunktion mehr Vorabinformationen.

Oft sind die Internetseiten nicht

auf dem aktuellen Stand, da es langfristig ebenso arbeitsintensiv ist, eine Datenbank zu betreiben wie sie erstmals zu erstellen. Der Vorteil des Internets, die weltweite Beschaffung von Informationen, verpufft sehr schnell, wenn die Anlaufstellen nur einen kleinen Teil der weltweit existierenden Multimedien zu einem Themengebiet umfassen und die Datenbanken nur unzureichend gepflegt werden. Im Infokasten „Multimediaserver“ sind einige ausgewählte Server aufgelistet, die sich als Orientierungshilfe eignen.

Evaluation

Ein Problem bei allen Versuchen, Multimedien nicht nur zu sammeln, sondern auch zu bewerten, ist die Festlegung geeigneter Kriterien. Sie sollen zum einen die Qualität des Mediums umfassend und aussagekräftig beschreiben, andererseits praktikabel handhabbar sein.

Mittlerweile existiert eine unüberschaubar große Menge an Kriterienkatalogen. Neben der klassischen Einteilung (Allgemeines, Inhalt, Didaktik, Technik), die nur beschränkt zur Evaluation von Multimedien geeignet ist, hat sich allerdings bisher kein Standard etabliert. Einen Ansatz zur Lösung dieses Problems bietet die Arbeitsgruppe „Multimedia in Physics Teaching and Learning“ des European Physics Education Network (EUPEN). Im Laufe der vergangenen beiden Jahre hat die Gruppe einen Kriterienkatalog entwickelt und genutzt, der die Probleme bestehender Evaluationsschemata zu minimieren versucht. Die Tabelle links zeigt das so entstandene neue Schema (vgl. [6, 7]). Die einzelnen Punkte werden dabei durch so genannte Leitfragen genauer spezifiziert, beispielsweise beim Punkt „Benutzerfreundlichkeit“:

- ▶ Lässt sich das multimediale Lernelement leicht in Betrieb nehmen?
- ▶ Ist die Bildaufteilung klar und die Bildqualität gut?
- ▶ Ist die Funktion der Bedienelemente klar?
- ▶ Sind die Softwareanforderungen klar und im Verhältnis angemessen?

Der Kriterienkatalog hat sich im Rahmen von Evaluationen der EUPEN bei mehreren hundert Multimedien bewährt.²⁾

Die genannte Arbeitsgruppe der EUPEN versucht, die immer unüberschaubarere Menge an Multimedien durch breit angelegte Re-

Kriterienkatalog zur Evaluation von Multimedien

Motivierung	Inhalt	Methode
Benutzerfreundlichkeit	Relevanz	Flexibilität
Attraktivität	Reichweite	Anpassung an Zielgruppe
Klarheit in Zielsetzung und Arbeitsauftrag	Richtigkeit	Umsetzung
Dokumentation		

Praktika in Ingenieur-Studiengängen“, über das die Lernplattform INGEDIA berichtet. Das Projekt wird von Hans-Jürgen Hagemann (FH Aachen) geleitet.

Die Lerneinheiten der Kommunikationsplattform ermöglichen die Vor- und Nachbereitung der Praktika. Die internetbasierten Softwaremodule decken dabei die Bereiche Grundlagenpraktika, Telematiklabore und Virtuelles Technologiepraktikum ab. Wie empirische Untersuchungen gezeigt haben, müssen die Studierenden vor dem eigentlichen Online-Praktikum mit dem realen Messplatz vertraut gemacht werden, um die Betreuer und die Geräte kennenzulernen. „Danach führt die eigenständige und wiederholbare Durchführung der bei solchen Aufgaben stets notwendigen systematischen Reihenmessungen als Online-

2) Bei der Bewertung im Rahmen des genannten Kriterienkatalogs wird eine Bewertungsskala mit fünf Stufen von „-“ bis „+“ verwendet.

3) Detaillierte Beschreibungen finden sich unter dem Punkt „Material“ auf der Seite <http://pen.physik.uni-kl.de/mmeuro.htm>.

Multimediaserver

▶ FIPS – Frühestieg ins Physikstudium

Auf dem FiPS-Medienserver der TU Kaiserslautern sind zurzeit mehr als 270 Medien bereitgestellt. Inhaltlich wird dabei der Bereich der ersten beiden Semester der universitären Ausbildung abgedeckt, d. h. die Studierenden finden MM zur Mechanik, Wärme- und Elektrizitätslehre sowie zur Optik. Die Seite bietet eine Suchfunktion nach Themengebieten, MM-Typen oder Stichwörtern an.

<http://fipsgold.physik.uni-kl.de/medienserver>

▶ LiLi – Die physikalische LinkListenDatenbank

Im Rahmen von „Physik multimedial“ entstand eine Datenbank, bei der der Nutzer nach Thema, Medientyp und Stichwörtern suchen kann. Aktuell sind darin etwa 200 Einträge zu allen Teilbereichen der Physik enthalten. Registrierte Benutzer können auf neue Anwendungen verweisen und Kommentare bzw. didaktische Anmerkungen hinzuzufügen.

www.physik-multimedial.de/lili/golili/lili.php

▶ MERLOT – The Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching

Ein sehr umfangreiches und redaktionell bearbeitetes Archiv zu Online-Lernmaterialien verschiedener Fachgebiete (Arts, Business, Education, Humanities, Mathematics, Science and Technology, Social Sciences) stellt die California State University zur Verfügung. Zur Physik gibt es ca. 1500 Links. Alle Medien sind ausführlich beschrieben. Teilweise werden die multimedialen Elemente auch beurteilt. Dadurch wird den Lehrenden die Auswahl geeigneter Medien erleichtert.

www.merlot.org

▶ Teachers' Page Physics – Multimedia Physik

Eine sehr große Physik-Linksammlung im deutschsprachigen Raum stellt der praktizierende Lehrer Peter Kraemer zur Verfügung. Die Verweise zu den Materialien sind nach Oberthemen geordnet. Alleine zur Mechanik gibt es etwa 250 Links. Schwächen sind die fehlende Suchfunktion und die unzureichende Sortierung.

www.schulphysik.de

cherchen und daraus resultierenden Empfehlungen übersichtlicher zu machen. So wurden beim jährlichen Workshop 2002 in Parma Multimedia zum Thema Quantenmechanik untersucht und 2003 in Prag das Thema Optik behandelt. 2004 fand eine gemeinsame Recherche zusammen mit MERLOT statt, in der Medien zur Mechanik evaluiert wurden.³⁾

Ausblick

Ein zentraler Knotenpunkt auf europäischer Ebene – ähnlich dem amerikanischen Projekt MERLOT – könnte die Sammlung, Produktion und Evaluation von Multimedia-Material bündeln. Zu den Zielen eines solchen Projektes gehört u. a. die Bereitstellung einer umfassenden Datenbank. Bei einer solchen Sammlung sollte die Bewertung und Kommentierung von multimedialen Elementen nicht fehlen.

Unabhängig von der Verwirklichung eines solchen Netzwerkes muss die Aktualisierung und Pflege der Plattform langfristig gesichert werden. Daher erscheint es nahe liegend, zusätzlich zu Fachwissenschaftlern eine dauerhafte Organisation mit dem Projekt zu betrauen. Darüber hinaus ist es aus der Sicht der Lehrenden wünschenswert, Hilfestellungen bei der Vorbereitung konkreter Lehr- und Lernvorhaben zu geben, z. B. durch Arbeitsblätter für den Physikunterricht, Tipps für den Einsatz in der Vorlesung an der Universität sowie multimediale Lernanleitungen für das Selbststudium. Anregungen hierzu lassen sich in den „digital libraries“ in den USA finden.

Innerhalb der DPG ist seit etwa 20 Jahren der „Arbeitskreis Multimedia“ (vor 1989 „Computer im Physikunterricht“) des Fachverbandes Didaktik der Physik eine feste Plattform für die Präsentation neuer Ideen und für Erfahrungsaustausch. Zusätzlich zu den regelmäßigen Mitglieder-Treffen auf Frühjahrstagungen entstand 2000 die Internetdatenbank MMPhys mit dem Ziel, sämtliche Multimedia-Aktivitäten zur Physik an deutschen Hochschulen zu sammeln.

Vergessen sollte man auch nicht, dass Multimedia in der Lehrerausbildung und -weiterbildung eine immer größere Bedeutung erhalten werden. Die Lehrerweiterbildung wird aufgrund leerer Kassen in Zukunft verstärkt multimedial per Fernlehre stattfinden. Das führt uns

auch wieder zum zentralen Ziel aller Bemühungen zurück: Das Lernen im Physikunterricht soll gefördert werden. Damit dies erreicht wird, müssen gerade Lehrer auf den Einsatz von Multimedia im Unterricht vorbereitet werden. Für den zahlenmäßig größten Anteil der Pädagogen, die bereits im Beruf stehen, werden jedoch noch zu wenige Fortbildungsveranstaltungen zu physikspezifischen Multimedia angeboten. Positiv zu bewerten ist die zunehmende Tendenz, dass in der universitären Ausbildung zukünftige Lehrer und Lehrerinnen bereits sinnvolle Einsatzmöglichkeiten von Multimedia für den Physikunterricht kennen lernen und einüben, wie z. B. die Messwerterfassung per Computer und der komplementäre Einsatz von Realexperiment und Simulation.

Literatur

- [1] J. Kirstein und R. Rass, Interaktive Bildschirmexperimente – Übersicht und Ausblicke, in: GDCP (Hrsg.) Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven, Leuchtturm-Verlag, Kiel, Alsbach/Bergstraße, S. 208–211 (1999)
- [2] S. Altherr, M. Vetter, B. Eckert und H. J. Jodl, Experimentieren aus der Ferne – Ferngesteuertes Labor im Internet, Praxis der Naturwissenschaft – Physik in der Schule (erscheint 2005)
- [3] T. Romanovskis, Flashanimation für interaktive Bildschirmmessungen, Tagungs-CD zur DPG-Tagung „Didaktik der Physik“, Augsburg, (2003)
- [4] Vgl. hierzu: R. Girwidz, Lerntheoretische Konzepte für Multimediaanwendungen zur Physik, PhyDid 1/3, 9 (2004)
- [5] J. Petri und H. Schecker, physik multimedial – Physik lehren und lernen mit Multimedia: Die Implementation der Lernplattform, PhyDid 1/2, 74 (2003); L. Murmann, M. Bohne, P. Ryder und H. Schottmüller, physik multimedial – Multimediale Selbstlerneinheiten für das Studium der Physik im Nebenfach, PhyDid 2/2, 100 (2003)
- [6] S. Altherr, A. Wagner, B. Eckert und H. J. Jodl, Ein Kriterienkatalog zur Evaluation von Multimedia, MNU 56 (2003)
- [7] S. Altherr, A. Wagner, B. Eckert und H. J. Jodl, Multimedia material for teaching physics (search, evaluation and examples), Eur. J. Phys. 25 (2004)